时间的多维度空间表征：分离的起源与激活机制

何听雨 丁一 李昊堃 程晓荣 范炤 定险峰

（华中师范大学心理学院，武汉 430079）

摘要 近期研究发现时间可以分别在三个空间维度（左右、前后和上下）进行表征，但不同维度心理时间线的起源和激活机制尚存争议。最新证据表明，左右维度时间线主要起源于阅读/书写习惯所伴随的感觉运动经验，其激活可能是一种低水平的感觉运动机制；前后和上下维度时间线主要起源于语言中的空间隐喻，其激活可能是一种高水平的语义机制。未来研究应更关注心理时间线的起源多样性、先天基础、神经机制以及时间线和数字线的类比。

关键词 心理时间线；起源；激活；具身模拟；隐喻映射

1 引言

利用具体的、有形可见的事物去理解那些无法看到、触摸到的抽象概念是人类的一项基本能力。时间的空间表征就是一个非常典型的例子，即人们会利用具体的空间范畴来表征抽象的时间概念。研究者采用不同的实验范式都发现了空间-时间反应联合编码效应（Spatial-Temporal Association of Response Codes effect, 简称 STARC）（Bonato, Zorzi, & Umiltà, 2012; Rolke et al., 2013; Sobbe, Scheifele, Maienborn, & Ulrich, 2019）。时间从早到晚，从过去到未来，在心理表征为一条具有特定方向的连续空间线，也就是我们所说的心理时间线（mental time line）。更进一步，研究者在三个空间维度（左右、前后和上下）都发现了心理时间线的存在。但这三个维度时间线的起源并非完全一样，相应的激活机制也有很大差异。根据已有研究证据，其中左右维度主要起源于感觉运动经验（sensorimotor experience），相应激活机制可能更偏向于低水平的具身模拟（embodied simulation）；前后和上下维度主要起源于空间隐喻（spatial metaphor），相应激活机制可能更偏向于高水平的隐喻映射（metaphor mapping）。

收稿日期：2019-05-28

* 国家自然科学基金面上项目（31671122; 31500869）、华中师范大学中央高校基本科研业务费项目资助（CCNU19TS075; CCNU19TD017）。

通信作者：定险峰，E-mail: xianfengding@mail.ccnu.edu.cn

2 心理时间线的起源

2.1 左右维度

2.1.1 左右维度时间线的证据

在左右维度上，研究者先后发现了基于时间词和基于时序的时间空间一致性关系。具体而言，表示过去意义的词语或句子用左手反应更快，表示未来意义的词语或句子用右手反应更快（de la Vega, Eikmeier, Ulrich, & Kaup, 2016; Ding, Feng, Cheng, Liu, & Fan, 2015; Ouellet, Román, & Santiago, 2012; Ulrich & Maienborn, 2010）。过去词会导致空间注意偏左，未来词会导致空间注意偏右（Hartmann, Martarelli, Mast, & Stocker, 2014; Martarelli, Mast, Hartmann, 2017; Rolke et al., 2013; Vannucci, Pelagatti, Chiorri, & Brugger, 2019）。较早时间点与空间左侧相联，较晚时间点与空间右侧相联（Boroditsky, Fuhrman, & McCormick, 2011; Ding, Cheng, Fan, & Liu, 2015; Fuhrman & Boroditsky, 2010; Rinaldi, Brugger, Bockisch, Bertolini, & Girelli, 2015）。上述研究结果表明，无论是时序或时间词，都具有非常一致的时间空间一致性关系。过去或较早的时间点表征在空间左侧，未来或较晚时间点表征在空间右侧，心理时间线从早到晚，从过去到未来表征为从左至右的一条空间线。

2.1.2 左右维度时间线的起源

大量证据都支持时间从早到晚，从过去到未来，可以表征为一条左右方向的连续空间线。那么这条时间线究竟起源于哪里？或者说什么原因造就了左右方向的心理时间线？研究者认为阅读书写习惯（reading/writing habits）这种感觉运动经验在其中起关键性作用，它塑造和决定了左右维度心理时间线的方向。

首先，不同阅读书写习惯的被试，他们的心理时间线走向不同。西班牙被试对过去词用左手反应更快，对未来词用右手反应更快；而以色列被试则相反，他们对未来词用左手反应更快，对过去词用右手反应更快（Ouellet, Santiago, Israeli, & Gabay, 2010）。当判断时序信息时，英语被试对较早时间用左键反应更快，对较晚时间用右键反应更快；而希伯来语被试则表现出相反的反应模式，对较早时间用右键反应更快，对较晚时间用左键反应更快（Fuhrman & Boroditsky, 2010）。从左向右阅读书写的汉语被试，无论是在视觉通道还是听觉通道（Ding et al., 2015; Kong & You, 2012），都拥有一条从左向右的心理时间线，这与其阅读书写习惯方向一致。但是，习惯于从右向左阅读的台湾被试则相反，他们更多地选择按照从右向左的顺序排列事件（Chan & Bergen, 2005）。此外意大利被试倾向于将较短时距表

征在空间左侧，较长时距表征在右侧，而以色列被试则与之相反（Vallesi, Weisblatt, Semenza, & Shaki, 2014）。早期盲人的研究结果也支持了此观点。盲人尽管视觉丧失，却依然存在从左到右的心理时间线，这是因为盲人的阅读书写也依靠从左到右的触摸感觉经验（Bottini, Crepaldi, Casasanto, Crollen, & Collignon, 2015）。

更重要的是，改变阅读书写方向会削弱甚至反转典型的 STARC 效应。Casasanto 和 Bottini（2014）研究发现，荷兰语被试心理时间线本来是从左至右的方向，但在阅读了 5 分钟镜像反转呈现的句子后，他们对表示过去意义的句子用右键反应更快，对表示未来意义的句子用左键反应更快，表现出反转的 STARC 效应，心理时间线的方向改变为从右向左，与经常从右向左阅读书写的阿拉伯被试和希伯来被试的心理时间线的方向一致。

上述研究结果表明，不同文化背景下阅读书写习惯的差异会影响心理时间线的方向，而临时性的阅读书写方向的改变也会削弱甚至反转心理时间线的方向。这就清晰地说明阅读书写习惯对时间在左右维度上的表征具有决定性作用，左右维度上的心理时间线起源于阅读书写过程中获得的感觉运动经验。

2.2 前后和上下维度

2.2.1 前后和上下维度时间线的证据

近来研究者发现前后维度上也存在心理时间线。人们倾向于把未来表征在前，把过去表征在后。即未来的时间用前键或向前反应更快，过去的时间用后键或向后反应更快（Sell & Kaschak, 2011; Ulrich et al., 2012; Walker, Bergen, & Núñez, 2013）。过去和向后的身体运动相联系，未来则和向前的身体运动相联系（Hartmann & Mast, 2012; Rinaldi, Locati, Parolin, Bernardi, & Girelli, 2016）。但最新的研究发现，如果将时间词（deictic stimuli）改为顺序性材料（sequence stimuli），心理时间线的方向将发生反转，即较早的时间点对应空间前方，较晚的时间点对应空间后方（Walker, Bergen, & Núñez, 2017; Xiao, Zhao, & Chen, 2017）。

对汉语被试而言，除了左右维度和前后维度的心理时间线外，人们还拥有一条上下维度的心理时间线。Fuhrman 等（2011）结果发现，汉语被试除了左右维度的心理时间线，还存在垂直方向的时间表征，即较早时间与上方相关，较晚时间与下方相关。其他研究者也发现类似结果（Boroditsky et al., 2011; Lai & Boroditsky, 2013; Miles, Tan, Noble, Lumsden, & Macrae, 2011）。不过最新的研究结果表明，当实验材料是时间词，任务是判断其代表过去意义还是未来意义时，被试倾向于把未来和空间上方相联系，过去和空间下方相联系，心理时间线的方向正好和前面提到的相反（冯宁，2015；Xiao et al., 2017）。无论如何，上述研究

结果都表明，汉语使用者拥有一条垂直维度的心理时间线。

2.2.2 前后和上下维度时间线的起源

左右维度的心理时间线是起源于阅读书写过程中的感知运动经验，那么前后维度和上下维度起源于什么呢？常见的一种观点认为，前后维度心理时间线可能也起源于人类的感觉运动经验。当我们行走或者奔跑时，我们“即将”到达的地方在我们的前方，而我们“曾经”走过的地方在我们身后，这自然而然地会让我们把未来与前方联系起来，而把过去与后方联系在一起（Bender & Beller, 2014; Lakoff & Johnson, 1980）。这种观点比较直观也容易理解，但已有证据并不完全支持此观点。一项最新的虚拟现实研究发现，左右维度的虚拟运动经验能够削弱甚至改变时间线的方向，而前后维度的虚拟运动经验却对心理时间线的方向没有影响（陈玲，2018）。该结果不支持向前行走或奔跑的感觉运动经验是前后维度时间线的起源这一观点。更进一步，由于人类都拥有相似的行走或奔跑经验（一般都向前走或奔跑），因此全世界不同文化的人都应该拥有方向一致的前后维度心理时间线，即未来在前，过去在后。但事实却并非如此。研究表明艾马拉人以及摩洛哥阿拉伯人的前后维度心理时间线朝向与英语及西班牙语被试相反，他们把过去知觉在前，把未来知觉在后（de la Fuente, Santiago, Román, Dumitrache, & Casasanto, 2014; Núñez & Sweetser, 2006）。不过一项关于早期盲人的研究表明他们不存在前后维度的心理时间线，因而作者认为视觉经验是存在前后维度时间线的必要条件（Rinaldi, Vecchi, Fantino, Merabet, & Cattaneo, 2018）。但该实验范式存在较大问题，盲人一般以身体为中心构建空间框架，该研究中被试的前后维度并不是以身体为中心的空间前方和后方（front and back），而是身体前方的远近不同位置（near and far）。

除了上述感觉运动经验起源的观点，更多研究者认为，语言中的时间空间隐喻可能是前后和上下维度时间线的主要起源。几乎所有的语言都会借用空间隐喻来表述时间，因而时间概念会被空间化（Boroditsky, 2000; Casasanto & Boroditsky, 2008; Lakoff & Johnson, 1980）。隐喻激活的空间图式可为加工时间事件提供相关信息（Boroditsky, 2000, 2001）。人们会依据所使用的语言以及讨论时间的方式来知觉时间（Boroditsky, 2011）。Casasanto（2008）认为，人们谈论时间的方式不同，对时间的思考也不同，而且人们选择思考时间的方式与本土语言中偏好的隐喻一致。在大多数语言中，普遍存在着前后维度的空间隐喻（Haspelmath, 1997）。比如在英语中，有“good times ahead of us”和“we can look forward to the beautiful future, or think back to travails past”等。在汉语中，有“前天”、“后天”、“前途”和“前进”等。由于这些隐喻的存在，人们常常在前后维度上表征时间。对于中国人而言，垂直维度的空间隐喻也被

用来表达时间信息。比如人们常说"上午"、"下午"、"以后更上一层楼"、"天天向上"以及"人往高处走"。虽然英语中也存在用"up/down"表达时间的现象，但远没有汉语中那么频繁和系统（刘丽虹，张积家，2009；Radden, 2003）。汉语按照垂直方向描述时间的现象比英语中更多。

上述空间隐喻的观点得到了较多研究证据的支持，前/后和上/下的空间隐喻会影响时间在前后维度和上下维度的表征。Núñez 和 Sweetser（2006）发现，在语言中将过去置于前方或是后方这种隐喻模式上的不同会直接影响被试如何用手势排列时间。英语使用者不存在上下维度上的 STARC 效应，但汉语使用者不仅在前后维度上有 STARC 效应，在上下维度上也存在显著的 STARC 效应。造成这种差异的原因，正是因为汉语比英语更多地使用上下维度空间隐喻（Boroditsky, 2000, 2011）。Boroditsky（2001）研究还发现，汉语使用者更倾向于使用垂直维度思考时间，英语使用者更倾向于在水平方向上思考时间。而且，随着开始使用第二语言的年龄增长，被试偏向按照垂直或是水平方式思考时间的程度会减弱。Fuhrman 等（2011）发现，在刺激材料为中文时，更加精通汉语的被试会更倾向于在垂直维度表征时间。这表明长期的隐喻使用经验和短期环境都会影响时间表征。Lai 和 Borodisky（2013）的结果也证实空间隐喻经验对时间表征确实同时具有长期和即时的影响。比如汉语使用者在理解前后隐喻时更倾向于建构前后维度的时间表征，在理解上下隐喻时，更倾向于建构上下维度的时间表征。

2.3 小结

可以看出，不同空间维度心理时间线的起源似乎存在较大差异。左右维度心理时间线主要受阅读/书写习惯的影响，与之相关联的感觉运动经验应是该维度时间线的基本起源。而对于前后维度时间线的起源，则存在一定争议。一方面，向前行走和奔跑的感觉运动经验可能是前后维度时间线的起源；另一方面，语言中的空间隐喻是形成前后维度心理时间线的主要原因。但最新的研究结果更支持后一种观点。最后，可能正是由于汉语中对垂直方向空间隐喻的频繁使用，造就了中国人独特的垂直维度时间线，所以空间隐喻是中国被试垂直维度心理时间线的主要起源。

3 心理时间线的激活机制

如前所述，研究者对于时间的空间表征进行了广泛探讨，发现时间能够在三个不同的空

间维度上分别进行表征，并且它们具有两类不同的起源：与阅读书写习惯相联系的感觉运动经验和语言的空间隐喻。那么这些起源不同的心理时间线是否具有相同或者分离的激活机制？或者说，不同维度上时间和空间的映射（time-space mapping）是否具有共同或分离的机制？对于这个问题，存在较大的理论争议，而争议的焦点在于概念的起源与其激活机制是否相关联。

3.1 统一机制 vs 分离机制？

不同起源的心理时间线究竟是否具有相同的激活机制？从不同的理论出发会得到不同的预期。如果理论假设概念的起源和激活无关，那么不同起源的概念应该具有相同的激活机制。根据传统的认知心理学或离身认知（disembodied cognition）的观点，概念的加工是一种符号操作的过程，是一种高水平的语义加工；其激活机制与初始的形成过程是分离的，概念早期形成过程中所涉及的机制不会卷入到此后的概念激活。更进一步，Boroditsky（2000）在抽象概念的隐喻结构论也特别指出，隐喻的核心作用是将具体领域的关系结构引入到抽象领域，而不会将具体表面特征也引入进来，时间概念的激活是一种高水平的语义符号加工。按照这种观点，尽管心理时间线起源不同，它们的激活机制应该没有差异，不同空间维度的时间空间映射机制应该都是高水平的语义机制。

但如果理论假设概念起源和其激活密切相关，那么不同起源的概念相应就有分离的激活机制。根据具身认知（embodied cognition）观点，抽象概念的激活与初始的形成过程密切相关，初始形成过程中所涉及的机制会自然地卷入到以后该概念的激活过程中。比如知觉符号理论认为概念的激活伴随着大量的感觉运动经验，这些感觉运动经验是在学习概念的时候发生的，它们会被存储在大脑中，并且在该概念激活时以模拟的形式重现，包括神经活动的重现（Barsalou, 2008, 2009）。其他一些研究者也支持这种看法（Glenberg & Kaschak, 2002; Gallese & Lakoff, 2005）。如果是这样，那么不同起源的心理时间线在初始形成阶段的加工机制就会有所区别，而这种不同的加工机制也会自然卷入到以后的概念激活过程中，后续概念相应就会具有分离的激活机制。简而言之，如果激活和起源有密切关联，那么由于不同维度心理时间线有着不同的起源，它们就应该具有分离的激活机制。

到底哪种观点正确呢？目前最新的一些证据更支持后者。比如冯宁（2015）发现，无论在时间判断相关任务还是无关任务中，左右维度和前后维度或垂直维度的心理时间线都能够同时激活，但前后维度和垂直维度的心理时间线不能同时激活。这种结果支持左右维度和另

外两个维度有着不同的激活机制，因为根据注意的多通道或多资源理论，不同的机制之间竞争较小或没有，因此可以共存；而前后维度和垂直维度可能有相同的机制，因为相同的机制或过程会竞争同一个加工通道或资源，因此不会发生共存。

再比如在言语反应的条件下，前后维度的时间空间一致性效应显著强于左右维度（Eikmeier, Alexl-Ruf, Maienborn, & Ulrich, 2015; Eikmeier, Schröter, Maienborn, Alexl-Ruf, & Ulrich, 2013）。这种结果暗示前后维度和左右维度有不同的机制，并且前后维度更偏向高水平的语义机制，因为言语反应与概念语义过程享有更多共同的特征。Eikmeier, Hoppe 和 Ulrich（2015）进一步发现，改变反应方式（手动反应和言语反应）并没有影响前后维度的时间空间一致性效应，由此他们推论前后维度时间和空间映射的机制应该是一种高水平的概念语义机制。因为如果前后维度是一种低水平的感觉运动机制，那么手动反应和它应该享有共同的低水平感觉运动特征，这样会导致更强的时间空间一致性效应，但结果并非如此。陈玲（2018）也发现虚拟的感觉运动经验对左右和前后维度心理时间线有着分离的影响，即反向的运动经验削弱甚至逆转了左右维度的心理时间线，但对前后维度的心理时间线没有显著影响。

更进一步，当采用指示性时间材料（deictic words）和相应的过去/未来判断任务时，个体倾向于激活未来-前/过去-后以及未来-上/过去-下的心理时间线；而采用顺序性材料（sequential words）和相应的顺序判断任务时，个体倾向激活反方向的晚-后/早-前以及晚-下/早-上的心理时间线。不过值得注意的是，无论采用哪种时间材料或任务，左右维度心理时间线方向都不会发生改变（Xiao et al., 2017）。这种结果进一步提示，左右维度和其他两个维度的心理时间线在起源和激活机制上确实存在本质差异，前者只受感觉运动经验影响，后者则受到语言中的空间隐喻影响。

3.2 低水平的具身模拟和高水平的隐喻映射

已有的证据似乎更支持心理时间线的激活与起源密切相关，不同起源的心理时间线有分离的机制这一观点。既然如此，起源于感觉运动经验的心理时间线相应可能是一种低水平的感觉运动机制，而起源于语言的空间隐喻的心理时间线相应可能是一种高水平的概念语义机制。这两类机制的具体特征和过程究竟如何？

根据当前具身认知理论，对于抽象概念的表征可能存在两类不同水平的激活机制：低水平的具身模拟（embodied simulation）和高水平的隐喻映射（metaphor mapping）。具身模拟

指的是当人们理解表示物体或事件的概念时，在某种程度上相关的感知运动经验被重新激活。因此，概念知觉和理解中包含与感知运动经验相关的知觉模拟过程。概念的加工过程中包含相关身体经验的模拟和神经系统的激活，即使个体并未与该概念发生实时在线的交互作用（Barsalou, 2008, 2009）。对于心理时间线而言，书写阅读习惯所伴随的感觉运动经验决定了左右维度心理时间线的走向。在理解时间的过程中，当人们从左向右阅读书写时，早先发生的信息经常出现在左侧，未出现过的、即将到来的信息出现在右侧，因此，人们会建立起早先发生的信息和未出现的信息分别与左侧和右侧之间内在的自然联系。这种感知运动经验塑造了“较早发生事件-左，较晚发生事件-右”的表征，而且这种时间和空间之间的联系在日常生活中被不断地重复和强化，存储在记忆中。当时间概念被再次激活时，与之相关的感觉、动作以及内省经验会再现，促使个体产生“早-左、晚-右”的反应模式。因此，左右维度心理时间线的激活主要是基于具身模拟的加工机制，其流向与阅读书写这种感知运动经验的方向一致。

隐喻映射是指人们建立起从具体概念到抽象概念的映射。Lakoff 和 Johnson（1980）在隐喻映射理论（Metaphoric mapping theory）中探讨了隐喻及其工作机制。处于映射关系中的抽象概念称为目标概念（target concept），用于理解目标概念的具体概念称为源概念（source concept）。在时间和空间的隐喻关系中，抽象的时间等同于目标概念，而具体的空间等同于源概念（Boroditsky, 2000）。我们常说“回顾过去”，在这里，“过去”和空间的“后方”之间形成了一种映射。再比如我们常说“前景”和“前程”等，这样“未来”和“前方”之间也形成了一种映射。同样的，我们也常常把时间中的“过去”、“未来”映射到空间中的“上”、“下”，例如“上午”、“下午”、“上个世纪”等。正是通过这样的映射关系，使得我们能够在时间和空间两者中找到共通点，从而能够用直观和容易理解的空间概念来理解抽象的时间。在抽象概念加工过程中，虽然具身模拟和概念隐喻中都包括着人们理解抽象概念时与具体物理世界互动的交互作用，但它们实质上是不同机制。具身模拟是一种概念内机制（intra-conceptual mechanism），包含着与某概念相关的身体状态（感知运动经验）的表征；而隐喻是一种概念间机制（inter-conceptual mechanism），通过隐喻能够实现看起来并不相同的概念间内容和结构的映射和表征（张恩涛，方杰，林文毅，罗俊龙，2013；Landau, Meier, & Keefer, 2010）。

3.3 小结

根据已有研究证据，左右维度的心理时间线主要起源于阅读/书写习惯，其激活会重启

或再现与阅读/书写习惯相联的感觉运动经验，是一种低水平直接的具身模拟机制。这种具身模拟强调情景或运动模拟在抽象概念表征中的直接作用，伴随着一段具体的感知运动经验，这段经验与所需理解的抽象概念密切相关。另一方面，前后和上下维度的心理时间线主要起源于语言中的空间隐喻，其激活是一种高水平的间接的隐喻映射机制。时间和空间这两个不同的范畴正是通过空间隐喻建立起映射关系。这种隐喻映射侧重具体经验与抽象概念之间的共同结构关系在抽象概念表征中的间接作用，注重两个概念间所具有的共同性的、较为普遍的感知运动经验。

尽管这两种机制有明显差异，但并非截然相反，更可能是由层级不同导致的。首先，它们都包含抽象概念与具象物理世界的交互作用，但是交互的层级不同；其次，在理解抽象概念时，两种机制可能会同时发生作用，即低水平的感觉运动机制和高水平的隐喻映射机制同时被激活。比如，研究发现左右和前后/垂直维度的心理时间线可以共存，可能是因为两种机制在理解时间概念时都被激活了；也可能当某一时间线被激活时，两种机制都起作用，但以某一种为主。

4 问题和展望

综上所述，已有研究表明，不同空间维度的心理时间线有着不同的起源，而这种起源的分离会造成相应激活机制的差异。左右维度起源于阅读书写习惯，很可能是一种低水平的感觉运动机制（具身模拟）；前后和垂直维度主要起源于语言中的空间隐喻，很可能是一种高水平的语义加工机制（隐喻映射）。但现有研究尚存在一些基本的问题，比如心理时间线的起源多样性和先天基础，心理时间线激活的神经机制以及与数字线的类比等都需要进一步的深入探讨。

4.1 心理时间线起源的多样性

左右维度的心理时间线起源于感觉运动经验，上下维度心理时间线起源于语言中的空间隐喻（垂直方向），而前后维度心理时间线的起源比较复杂，有可能起源于行走/奔跑的感觉运动经验，更有可能是语言中的空间隐喻。那么是否还有其它的来源呢？目前一些研究似乎发现了心理时间线的其它起源。

比如 de la Fuente 等（2014）发现摩洛哥被试更多地把过去放在前方，把未来放在后方；而西班牙被试则更多地把未来放在前方，把过去放在后方。他假设这种差异可能来源于民族

文化的差异而不是语言或其他原因（在摩洛哥方言达里语中是包含未来在前的隐喻的）：摩洛哥人更注重过去和传统，而西班牙人更注重未来，也就是两种文化的“时间注意倾向（temporal-focus）”不同。de la Fuente 让同一种文化下的年轻人（更关注未来）和老年人（更关注过去），以及经过“未来注意”启动和“过去注意”启动的被试组分别完成上述实验任务，结果证实了他的“时间注意倾向假设”（temporal-focus hypothesis）。另外有些原始部落的人是按照上坡和下坡的方向（Núñez, Cooperrider, Doan, & Wassmann, 2012），或者按照山川河流/东西走向来区分过去和未来（Levinson & Majid, 2013）。以上这些研究证据表明心理时间线并非简单地起源于感觉运动经验和语言隐喻，在某些特殊情境或文化中，其激活可能是多种认知机制交互作用的过程。当然这都需要进一步研究来验证。

此外，Proctor 和 Cho（2006）提出的极性对应（polarity correspondence）理论也提供了时间-空间匹配的另一种起源或解释。在各种二元分类任务中，人们倾向于将两种刺激与两种反应方式都编码为正负两极，当刺激极性与反应方式极性相对应时，反应时更快，产生映射效应。而且该理论认为，只要具备极性上的对应关系，就能够产生刺激反应方式一致性效应。极性对应理论在情绪和道德等抽象概念的一致性效应上得到了一些研究的支持，不过在数字-空间和时间-空间一致性效应的解释上还存在争议（Santiago & Lakens, 2015; 马佳，2017）。

4.2 心理时间线的先天基础

关于心理时间线的起源和机制，现有绝大部分观点或研究都认为是后天形成的。因为无论是阅读书写习惯还是语言的空间隐喻，很大程度上都是后天形成或习得，所以心理时间线很可能是一种后天习得的结果。在一项最新的学龄前儿童研究中也发现，儿童的心理时间线是逐渐构建而成的。与成人从左到右的心理时间线方向不同，儿童的心理时间线十分灵活，进入学龄期后才逐渐趋于稳定（Tillman, Tulagan, Fukuda, & Barner, 2018）。

众所周知，时间和空间在物理上有着不可分割的联系，任何客体空间的变化都伴随着时间的变化，而在人类日常生活的主观心理经验中也是如此。相对于后天的观点，这种时间和空间在物理和主观经验上的紧密联系是否会沉淀到人类的遗传和进化过程中？即时间和空间的映射是否存在遗传或先天的基础？比如哲学家康德就曾提出时间和空间的先天范畴的观点。Buzsáki 和 Llinás（2017）也指出，时间和空间并不是独立的概念，神经元对事件的一系列加工活动同时囊括了时间与空间的信息，空间导航和时间顺序的加工共享同样的神经细胞，应该考虑将时间和空间视为一个心理结构。而一项最新的针对左侧空间忽视病人的

研究发现，左右维度的心理时间线可能是先天的效应，阅读经验的影响反而不大（Anelli et al., 2018）。但这项针对特殊群体的研究结果并不能完全证明心理时间线是先天决定的，这其中还受到其他许多因素的影响。总之，关于心理时间线的先天基础尚需进一步的深入探讨，比如用新出生的动物或婴儿做被试，看是否存在时间和空间的先天映射关系。

4.3 心理时间线激活的神经机制

关于心理时间线激活的神经机制的直接研究很少。但已有关于时间和空间联系的研究证据和理论表明，时间和空间享有共同的神经基础。Basso, Nichelli, Frassinetti 和 Di Pellegrino（1996）第一次发现右顶叶皮层的损害（RBD）同时破坏了空间和时间的知觉。Danckert 等人（2007）也发现相对于正常人和非空间忽视的 RBD 患者，有空间忽视症的 RBD 病人表现出对时距的显著低估。Oliveri 等人（2009）用时间分半任务和 TMS 技术探讨了秒级以上时间的中点划分。结果发现对右顶叶皮层的重复经颅磁刺激（rTMS）会导致时间间隔的中点向前偏移。关键是这种偏移也发生在具有空间忽视的 RBD 病人身上，而且和对空间线段中点判断向右偏移的表现完全一样。研究者推测流逝的时间在心理表征为一条从左到右的空间线，相关脑区域就在右顶叶皮层。在已有研究基础上，Walsh 等人提出了著名的数量理论（A Theory of Magnitude, ATOM）：鉴于时间、数字及其他形式的数量都包含数量成分，且均为较小的数量与左侧空间相联，而较大的数量与右侧空间相联，因而数字、时间和空间三者实则共享一个数量系统，而顶叶皮层（Parietal Cortex）可能是这个数量系统的核心（Bueti & Walsh, 2009）。

尽管上述理论和研究都支持时间和空间有共同的神经基础，但时间和空间具体的映射机制还很模糊。过去和未来究竟如何与空间中的不同方位建立起映射的关系？如果是低水平的感觉运动机制，这种时间空间的映射是否更多地涉及到感觉运动区域？而如果是高水平的隐喻映射机制，是否更多地涉及到隐喻相关的脑区（颞叶皮层）？这些问题都需要进一步深入探讨。

4.4 心理时间线与心理数字线的类比

数字作为与时间类似的抽象概念，在心理表征上与时间也具有很多相似之处，比如左右、前后、上下三个维度都发现了空间数字联合反应编码（Spatial-Number Association of Response Codes Effect, 简称 SNARC）效应，表明了心理数字线存在于这三个维度上（Winter, Matlock, Shaki, & Fischer, 2015）。更重要的是，在起源上两者也有类似之处。比如左右维度的心理数

字线也起源于阅读/书写习惯。阅读书写习惯从左至右的个体（英语、汉语等被试），其心理数字线的方向也是从左至右的；相反阅读书写习惯从右至左的个体（阿拉伯语和希伯来语被试），其心理数字线的方向也是相反的（Fuhrman & Boroditsky, 2010）。此外用手指数数的习惯也会影响甚至反转心理数字线（Fischer, 2008; Pitt & Casasanto, 2014）。因此左右维度的心理数字线和心理时间线一样，起源于阅读书写习惯带来的感觉运动经验。但前后和上下维度的数字线起源比较复杂。比如上下维度，其可能的起源之一是空间隐喻。我们在语言表达上经常会说"高分"、"低分"、"高智商"、"低智商"。其次也可能起源于日常生活经验。由于重力作用，我们常常知觉到"多即是上"（Tversky, 2011），比如倒水或者放东西的时候都是数量越多，高度越高；另外，我们平常使用的各种仪器，如量筒、温度计、身高测量、电梯按钮等，以及图表的表示都是将小数字表示在下，大数字表示在上（Winter et al., 2015）。

但另一方面，心理时间线和心理数字线并不完全一致。最新的一项研究直接提出了心理数字线和心理时间线的分离。比如视觉经验和反馈对心理数字线和心理时间线的影响是分离的（Nava, Rinaldi, Bulf, & Macchi Cassia, 2017）。另一项研究中，被试学习了从 10 到 1 的手指数数方式之后，其心理时间线和数字线的方向完全相反（Pitt, Scales, & Casasanto, 2018）。阅读书写经验可以同时影响心理时间线和心理数字线，但是手指数数对心理数字线的影响可能更大。

参考文献

陈玲. (2018). *虚拟感觉运动经验对不同维度心理时间线的分离影响*(硕士学位论文). 华中师范大学, 武汉.

冯宁. (2015). *心理时间线：具身模拟和概念隐喻的双重进程？*(硕士学位论文). 华中师范大学, 武汉.

刘丽虹, 张积家. (2009). 时间的空间隐喻对汉语母语者时间认知的影响. *外语教学与研究：外国语文双月刊, 4*, 266–271.

马佳. (2017). *空间-时间联合编码效应：基于极性对应理论的解释*(硕士学位论文). 河北师范大学, 石家庄.

张恩涛, 方杰, 林文毅, 罗俊龙. (2013). 抽象概念表征的具身认知观. *心理科学进展, 21*(3), 429–436.

Anelli, F., Peters-Founshtein, G., Shreibman, Y., Moreh, E., Forlani, C., Frassinetti, F., & Arzy, S. (2018). Nature and nurture effects on the spatiality of the mental time line. *Scientific Reports, 8*(1), 11710.

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology, 59*(1), 617–645.

Barsalou, L. W. (2009). Simulation, situated conceptualization, and prediction. *Philosophical Transactions: Biological Sciences, 364*(1521), 1281–1289.

Basso, G., Nichelli, P., Frassinetti, F., & Di Pellegrino, G. (1996). Time perception in a neglected space. *Neuroreport*, *7*(13), 2111–2114.

Bender, A., & Beller, S. (2014). Mapping spatial frames of reference onto time: A review of theoretical accounts and empirical findings. *Cognition, 132*(3), 342–382.

Bonato, M., Zorzi, M., & Umiltà, C. (2012). When time is space: Evidence for a mental time line. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(10), 2257–2273.

Boroditsky, L. (2000). Metaphoric structuring: Understanding time through spatial metaphors. *Cognition, 75*(1), 1–28.

Boroditsky, L. (2001). Does language shape thought? Mandarin and English speakers' conceptions of time. *Cognitive Psychology, 43*(1), 1–22.

Boroditsky, L. (2011). How languages construct time. In S. Dehaene & E. Brannon (Eds.), *Space, time and number in the brain: Searching for the foundations of mathematical thought* (pp. 333–341). San Diego, CA: Elsevier.

Boroditsky, L., Fuhrman, O., & McCormick, K. (2011). Do English and Mandarin speakers think about time differently? *Cognition, 118*, 123–129.

Bottini, R., Crepaldi, D., Casasanto, D., Crollen, V., & Collignon, O. (2015). Space and time in the sighted and blind. *Cognition*, *141*, 67–72.

Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other

magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 364*(1525), 1831–1840.

Buzsáki, G., & Llinás, R. (2017). Space and time in the brain. *Science, 358*(6362), 482–485.

Casasanto, D. (2008). Who's afraid of the big bad Whorf? Crosslinguistic differences in temporal language and thought. *Language Learning, 58,* 63–79.

Casasanto, D., & Boroditsky, L. (2008). Time in the mind: Using space to think about time. *Cognition*, *106*(2), 579–593.

Casasanto, D., & Bottini, R. (2014). Mirror reading can reverse the flow of time. *Journal of Experimental Psychology: General, 143*(2), 473–479.

Chan, T. T., & Bergen, B. (2005). Writing direction influences spatial cognition. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 27,* 412–417.

Danckert, J., Ferber, S., Pun, C., Broderick, C., Striemer, C., Rock, S., & Stewart, D. (2007). Neglected time: Impaired temporal perception of multi-second intervals in unilateral neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(10), 1706–1720.

de la Fuente, J., Santiago, J., Román, A., Dumitrache, C., & Casasanto, D. (2014). When you think about it, your past is in front of you: How culture shapes spatial conceptions of time. *Psychological Science, 25*(9), 1682–1690.

de la Vega, I., Eikmeier, V., Ulrich, R., & Kaup, B. (2016). The mental timeline in a crossed-hands paradigm. *Experimental Psychology, 63*(6), 326–332.

Ding, X., Cheng, X., Fan, Z., & Liu, H. (2015). Is elapsing time really recoded into spatial linear representation in working memory? *Experimental Psychology, 62*(1), 1–9.

Ding, X., Feng, N., Cheng, X., Liu, H., & Fan, Z. (2015). Are past and future symmetric in mental time line? *Frontiers in Psychology, 6*, 208－215.

Eikmeier, V., Alex-Ruf, S., Maienborn, C., & Ulrich, R. (2015). How strongly linked are mental time and space along the left-right axis? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 41*(6), 1878–1883.

Eikmeier, V., Hoppe, D., & Ulrich, R. (2015). Response mode does not modulate the space-time congruency effect: Evidence for a space-time mapping at a conceptual level. *Acta Psychologica, 156,* 162–167.

Eikmeier, V., Schröter, H., Maienborn, C., Alex-Ruf, S., & Ulrich, R. (2013). Dimensional overlap between time and space. *Psychonomic Bulletin & Review, 20*(6), 1120–1125.

Fischer, M. H. (2008). Finger counting habits modulate spatial-numerical associations. *Cortex, 44,* 386–392.

Fuhrman, O., & Boroditsky, L. (2010). Cross-cultural differences in mental representations of time: Evidence from an implicit nonlinguistic task. *Cognitive Science, 34*(8), 1430–1451.

Fuhrman, O., McCormick, K., Chen, E., Jiang, H., Shu, D., Mao, S., & Boroditsky, L. (2011). How linguistic and cultural forces shape conceptions of time: English and Mandarin time in 3D. *Cognitive Science, 35*(7), 1305–1328.

Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology, 22*(3/4), 455–479.

Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(3), 558–565.

Hartmann, M., Martarelli, C. S., Mast, F. W., & Stocker, K. (2014). Eye movements during mental time travel follow a diagonal line. *Consciousness and Cognition, 30*, 201–209.

Hartmann, M., & Mast, F. W. (2012). Moving along the mental time line influences the processing of future related words. *Consciousness and Cognition, 21*(3), 1558–1562.

Haspelmath, M. (1997). *From Space to Time: Temporal Adverbials in the World's Languages*. München: Newcastle.

Kong, F., & You, X. (2012). Space-time compatibility effects in the auditory modality. *Experimental Psychology, 59*, 82–87.

Lai, V. T., & Boroditsky, L.(2013). The immediate and chronic influence of spatio-temporal metaphors on the mental representations of time in english, mandarin, and mandarin-english speakers. *Frontiers in Psychology, 4*(5), 142–151.

Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). The metaphorical structure of the human conceptual system. *Cognitive Science, 4*(2), 195–208.

Landau, M. J., Meier, B. P., & Keefer, L. A. (2010). A metaphor-enriched social cognition. *Psychological Bulletin, 136*(6), 1045–1067.

Levinson, S. C., & Majid, A. (2013). The island of time: Yélî Dnye, the language of Rossel Island. *Frontiers in Psychology, 4*(2), 61–71.

Martarelli, C. S., Mast, F. W., & Hartmann, M. (2017). Time in the eye of the beholder: Gaze position reveals spatial-temporal associations during encoding and memory retrieval of future and past. *Memory & Cognition, 45*(1), 40–48.

Miles, L. K., Tan, L., Noble, G. D., Lumsden, J., & Macrae, C. N. (2011). Can a mind have two time lines?

Exploring space-time mapping in mandarin and english speakers. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(3), 598–604.

Nava, E., Rinaldi, L., Bulf, H., & Macchi Cassia, V. (2017). Visual and proprioceptive feedback differently modulate the spatial representation of number and time in children. *Journal of Experimental Child Psychology, 161,* 161–177.

Núñez, R. E., Cooperrider, K., Doan, D., & Wassmann, J. (2012). Contours of time: Topographic construals of past, present, and future in the Yupno valley of Papua New Guinea. *Cognition, 124,* 25–35.

Núñez, R. E., & Sweetser, E. (2006). With the future behind them: Convergent evidence from Aymara language and gesture in the crosslinguistic comparison of spatial construals of time. *Cognitive Science, 30,* 401–450.

Oliveri, M., Koch, G., Salerno, S., Torriero, S., Gerfo, E. L., & Caltagirone, C. (2009). Representation of time intervals in the right posterior parietal cortex: Implications for a mental time line. *NeuroImage, 46*(4), 1173–1179.

Ouellet, M., Román, A., & Santiago, J. (2012). A multisensory interaction effect in the conceptual realm of time. *Experimental Psychology, 59*(4), 236–242.

Ouellet, M., Santiago, J., Israeli, Z., & Gabay, S. (2010). Is the future the right time? *Experimental Psychology, 57*(4), 308–314.

Pitt, B., & Casasanto, D. (2014). Experiential Origins of the Mental Number Line. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 36,* 1174–1179.

Pitt, B., Scales, K., & Casasanto, D. (2018). Time and numbers on the fingers: Dissociating the mental timeline and mental number line. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 40,* 890–895.

Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin, 132*(3), 416–442.

Radden, G. (2003). The metaphor TIME AS SPACE across languages. *Zeitschrift für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht, 8*(2/3), 226–239.

Rinaldi, L., Brugger, P., Bockisch, C. J., Bertolini, G., & Girelli, L. (2015). Keeping an eye on serial order: Ocular movements bind space and time. *Cognition, 142,* 291–298.

Rinaldi, L., Locati, F., Parolin, L., Bernardi, N. F., & Girelli, L. (2016). Walking on a mental time line: Temporal processing affects step movements along the sagittal space. *Cortex, 78,* 170–173.

Rinaldi, L., Vecchi, T., Fantino, M., Merabet, L. B., & Cattaneo, Z. (2018). The Ego-Moving Metaphor of Time Relies on Visual Experience: No Representation of Time Along the Sagittal Space in the Blind. *Journal of Experimental Psychology: General, 147*(3), 444–450.

Rolke, B., Fernández, S. R., Schmid, M., Walker, M., Lachmair, M., López, J. J. R., ... & Vázquez, C. (2013). Priming the mental time-line: Effects of modality and processing mode. *Cognitive Processing, 14*(3), 231–244.

Santiago, J., & Lakens, D. (2015). Can conceptual congruency effects between number, time, and space be accounted for by polarity correspondence? *Acta Psychologica, 156,* 179 – 191.

Sell, A. J., & Kaschak, M. P. (2011). Processing time shifts affects the execution of motor responses. *Brain and Language, 117*(1), 39–44.

Sobbe, L., Scheifele, E., Maienborn, C., & Ulrich, R. (2019). The Space-Time Congruency Effect: A Meta-Analysis. *Cognitive Science, 43*(1), e12709.

Tillman, K. A., Tulagan, N., Fukuda, E., & Barner, D. (2018). The mental timeline is gradually constructed in childhood. *Developmental Science, 21,* 3879 – 3884.

Tversky, B. (2011). Visualizing thought. *Topics in Cognitive Science, 3*(3), 499–535.

Ulrich, R., Eikmeier, V., de la Vega, I., Fernández, S. R., Alex-Ruf, S., & Maienborn, C. (2012). With the past behind and the future ahead: Back-to-front representation of past and future sentences. *Memory & Cognition, 40*(3), 483–495.

Ulrich, R., & Maienborn, C. (2010). Left-right coding of past and future in language: The mental timeline during sentence processing. *Cognition, 117*(2), 126–138.

Vallesi, A., Weisblatt, Y., Semenza, C., & Shaki, S. (2014). Cultural modulations of space-time compatibility effects. *Psychonomic Bulletin & Review, 21*(3), 666–669.

Vannucci, M., Pelagatti, C., Chiorri, C., & Brugger, P. (2019). Space-time interaction: Visuo-spatial processing affects the temporal focus of mind wandering. *Psychological Research, 83,* 698–709.

Walker, E., Bergen, B., & Núñez, R. (2013). Later events lie behind her, but not behind you: Compatibility effects for temporal sequences along the sagittal axis depend on perspective. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 35,* 3729–3734.

Walker, E. J., Bergen, B. K., & Núñez, R. (2017). The spatial alignment of time: Differences in alignment of deictic and sequence time along the sagittal and lateral axes. *Acta Psychologica, 175,* 13–20.

Winter, B., Matlock, T., Shaki, S., & Fischer, M. H. (2015). Mental number space in three dimensions.

Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 57, 209–219.

Xiao, C., Zhao, M., & Chen, L. (2017). Both Earlier Times and the Future Are “Front”: The Distinction Between Time- and Ego-Reference-Points in Mandarin Speakers’ Temporal Representation. *Cognitive Science, 42*(3), 1026–1040.

The multidimensional spatial representation of time: Dissociations on its ontogenetic origin and activation mechanism

HE Tingyu; DING Yi; LI Haokun; CHENG Xiaorong; FAN Zhao; DING Xianfeng

(*School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan* 430079, *China*)

Abstract: A growing body of evidence suggested that time can be represented separately either on the lateral, sagittal or vertical axis. However, how these mental time lines originate and be activated remains controversial. Recent evidence supports that the lateral mental time line mainly originates from sensorimotor experience associated with reading/writing habits, and the activation may be a low-level sensorimotor mechanism. In contrast, the sagittal/vertical mental time line mainly originates from spatial metaphor in language, and the activation may be a high-level semantic mechanism. The future study should focus more on the diversity of origins, the gene basis, the neural mechanism and the analogy between mental time lines and mental number lines.

Keywords: mental time line; origin; activation; embodied simulation; metaphor mapping